

SYNTHESE

Sauvegarder et sécuriser
les arbres par
le haubanage ou l'étayage



Sauvegarder et sécuriser les arbres par le haubanage ou l'étayage

Thème :

Sous thème :

Mots clefs : ArboRencontre, arbre, étau, étayage, hauban, haubanage, risque, sauvegarde, sécurité.

Objectifs de la synthèse : Compte rendu de la 23e ArboRencontre de Seine-et-Marne sur la sauvegarde et la sécurisation des arbres par le haubanage ou l'étayage, organisée par le CAUE 77 le jeudi 3 juin 2010 à Melun (77)

Résumé :

Les arbres peuvent se briser lorsque la résistance mécanique du bois est altérée. Après diagnostic, il est possible d'installer des haubans ou des étais pour éviter la rupture de branches dangereuses pour le public et les biens et dégradante pour l'arbre. Ces systèmes de haubanage peuvent être souples (dynamiques) pour que les branches continuent à bouger avec une amplitude contrôlée (l'arbre continue ainsi à fabriquer du bois de réaction), ou rigides (statiques) pour maintenir des branches très altérées ou des branches horizontales (câbles non élastiques ou étais).



Haubanage et gestion du risque

Possibilités et limites des méthodes actuelles

Lors de son allocution, le **Docteur Bruno Campanella** du service LTE GxABT à l'**Université de Liège - Belgique** a exposé sa définition de la gestion du risque.

Le risque est la probabilité pour qu'un événement crée des dommages à une cible.

1) Il est nécessaire **d'identifier l'événement à risque** (chute de branche, cassure, déracinement de l'arbre, ...) Cela implique qu'il y ait eu une première étape de diagnostic visuel. Réaliser un haubanage avant d'avoir fait un diagnostic pourrait être pire que de ne rien faire car le problème à régler n'a pas été bien ciblé.

2) Il faut **évaluer la probabilité que l'événement survienne**. Le diagnostic visuel peut parfois être complété par des techniques plus sophistiquées telles que le test de traction par exemple.

3) **Identifier les cibles** environnantes. Pour qu'il y ait risque, il faut que l'évènement crée des dommages sur une cible. Y a-t-il des personnes ou des biens à protéger à proximité de cet arbre ?

Si l'arbre a une très haute valeur patrimoniale c'est lui-même qu'il faut protéger.

Les stratégies de gestion du risque

Il existe **quatre manières de gérer le risque** :

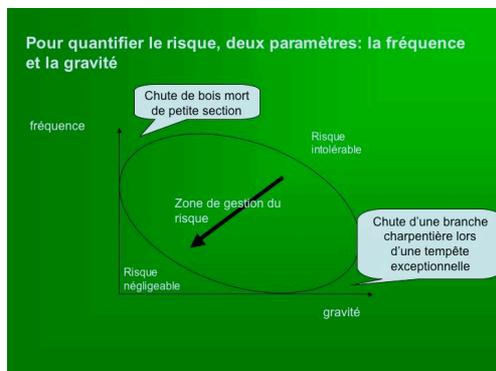
1) L'**évitement** - L'arbre présentant un risque le gestionnaire décide de l'abattre ou d'éloigner la cible (mise en place d'un périmètre de protection).

2) L'**acceptation** - Le risque est accepté car la probabilité est faible ou les autres solutions sont trop coûteuses. Le gestionnaire informe la population du risque par un panneau de signalisation par exemple. Le risque doit être bien évalué et l'information claire et bien visible.

3) La **réduction du risque** - Le gestionnaire recherche des facteurs de risque et les maîtrise par des mesures de protection et de prévention adaptées. Le haubanage peut être une mesure de protection employée.

4) Le **transfert** - Le gestionnaire fait porter la charge de la responsabilité à un expert. En cas de haubanage, le propriétaire estime souvent que celui qui a posé les haubans est responsable.

Le risque est quantifié par deux paramètres : la fréquence à laquelle l'évènement peut survenir et la gravité liée aux dommages.



Le risque est négligeable s'il est peu fréquent et peu grave. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'intervenir.

Le risque est intolérable s'il est très fréquent et (ou) extrêmement grave. Dans ce cas, on opère par évitement, généralement l'abattage.

Dans la zone intermédiaire, le gestionnaire essaie de diminuer la fréquence et la gravité du risque. Le haubanage est censé jouer sur ces deux facteurs en limitant le balancement de la branche et en retenant cette dernière si elle casse.

La fréquence et la gravité sont deux paramètres qui évoluent dans le temps. Le changement climatique peut augmenter la fréquence des tempêtes. Des modifications anthropiques de l'environnement de l'arbre (construction d'immeuble par exemple) peuvent modifier le régime des vents. La masse des charpentières augmente avec le temps donc la gravité de la chute peut s'accroître. La gravité peut aussi être augmentée lorsque des bâtiments sont réalisés à proximité immédiate des espaces arborés.

La sécurisation dynamique de rupture (systèmes souples)

Il s'agit du soutien d'une couronne présentant des défauts de structure tels que des fourches à écorce incluse, des cavités ou des plaies.

Les techniques de haubanage sont nombreuses cela implique de faire un choix.

En matière de haubanage, la question principale est de déterminer quel est le mouvement maximal que la branche peut réaliser avant de se rompre. Ceci est très difficile à quantifier.

Les tests de traction seraient une voie à étudier pour identifier le seuil de rupture d'une branche.

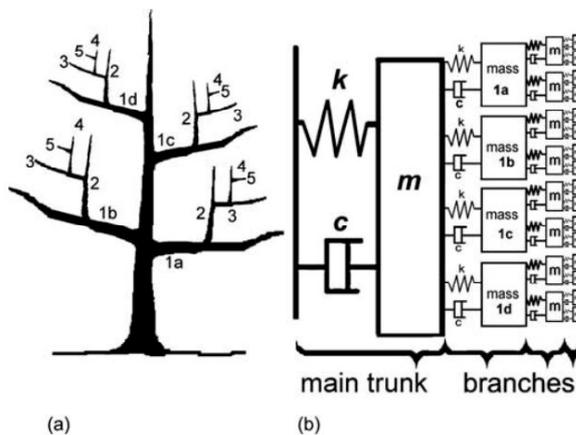
Dans la pratique, ne sachant pas quel est ce mouvement maximal autorisé, le dimensionnement du haubanage est généralement basé sur la base du poids estimé des branches. Le système doit être souple puis devenir progressivement rigide lorsqu'il est en tension pour stopper le déplacement de la branche avant son point de rupture.

Le Dr Campanella a mené, avec l'un de ses étudiants, des travaux de recherche qui ont consisté à étudier le mouvement naturel d'une branche et à ensuite analyser comment ce mouvement est modifié suite à l'installation d'un hauban.

Des capteurs de tension ont été placés tous les mètres sur une branche horizontale. Dans un premier temps, le mouvement naturel de la branche a été enregistré puis ensuite des masses allant jusqu'à 100 kg ont été suspendues à cette branche, puis libérées brutalement.

Les mesures ont été réalisées de la fin de l'hiver jusqu'à la fin du mois de mai. Il a été constaté que l'apparition du feuillage a modifié le mouvement enregistré. Ces modifications sont dues à l'augmentation de la masse mais aussi au frottement des feuilles qui induisent un très fort amortissement du mouvement de la branche.

Ceci avait été mis en évidence par K. James qui a modélisé l'arbre comme étant des associations de masses. Chaque masse étant associée par un système ressort- amortisseur à des masses plus petites qui sont les ramifications.



Une branche sans ramification a une amplitude importante. Plus on y ajoute de ramifications, plus l'amplitude est diminuée car l'amortissement est lié aux masses latérales qui vibrent parfois en déphasage par rapport à la branche maîtresse.

La pause de hauban est souvent associée à des opérations d'élagage. Lors de la taille, les élagueurs sont généralement tentés de réduire les branches et d'éclaircir le houppier pour limiter la prise au vent. Cependant, il ne faut pas oublier que la réduction des branches a aussi pour conséquence la diminution de la capacité intrinsèque de l'arbre à amortir son propre mouvement.

Le hauban doit induire un amortissement complémentaire en limitant le nombre de cycle d'oscillation de façon à arriver à une absence de mouvement plus rapidement.

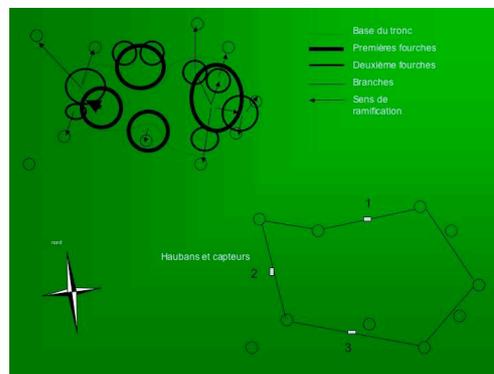
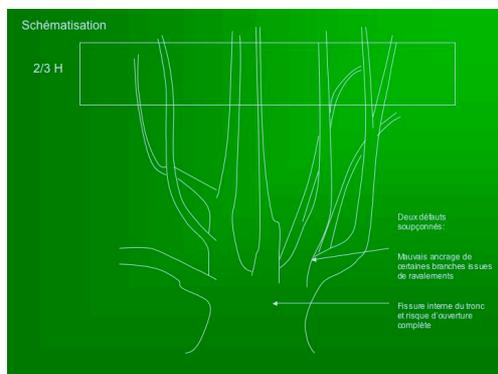
La meilleure façon d'amortir le choc serait d'avoir des systèmes destructifs (bandes se déchirant en dissipant l'énergie), mais ces systèmes à usage unique ne sont pas applicables dans le cas du haubanage.

Si le hauban est mal dimensionné (longueur trop faible, élasticité pas assez importante), il réduit l'amplitude du mouvement de la branche, mais trop peu par rapport à la limite de rupture et la branche peut se briser au niveau de l'ancrage du hauban (effet karaté).

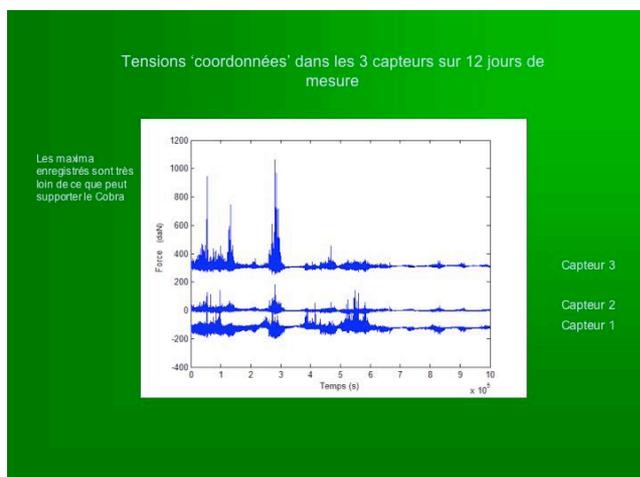
Les systèmes souples ne sont pas prévus pour rester en tension permanente.

Expérimentations réalisées sur le tilleul de Haut-le-Wastia.

Il s'agit d'un arbre à tronc creux avec une couronne composée d'une dizaine de mats verticaux. Le haubanage a été réalisé à 2/3 de la hauteur. L'objectif était de mesurer la tension dans les câbles et de définir une méthodologie commune entre le gestionnaire et l'arboriste. L'architecture de l'arbre a été dessinée de profil puis les principaux axes ont été identifiés vue d'en haut et les haubans ont été positionnés sur ce schéma.



Les câbles ont une longueur de 2 à 4 m. (cobra 5 Tonnes). 3 capteurs de tension ont été positionnés sur les haubans et une station météo permettait de mesurer la vitesse des vents. Les mesures enregistrées ont permis de constater que les tensions sont coordonnées dans les 3 capteurs. Les tensions sont plus ou moins importantes sur les 3 haubans, mais les pics de tension sont coordonnés.



La sécurisation statique de soutien (systèmes rigides)

Lorsque la partie haute de l'arbre a une résistance mécanique trop faible pour supporter l'ancrage de haubans maintenant les charpentières dominées altérées, il est possible de maintenir ces branches par deux techniques différentes.

1) Un **mat central** implanté à proximité du sujet, peut être le **support de câbles** maintenant les branches charpentières. Ces câbles qui ne sont pas en tension ont pour but de limiter l'amplitude du mouvement des branches.

Ce type d'installation a été mis en place sur le tilleul de Doyon en Belgique. Un mat central positionné sur un support souple est haubané par 3 câbles métallique ancrés dans le sol. 4 câbles métalliques retiennent, à partir du sommet du mas, les différentes branches charpentières. Des pesons mesurent en continue depuis près de 3 ans les tensions dans ces câbles. Les câbles sont reliés, au niveau du point d'ancrage, à des sangles cobra. Les haubans ne sont pas en tension. Un anémomètre mesure la vitesse du vent au sommet du mat.

La relation entre la vitesse du vent et la charge des câbles est ainsi mesurée.



2) Les branches affaiblies peuvent être supportées par des **étais**. Ce système statique a l'inconvénient de rendre la branche soutenue totalement dépendante de sa béquille. Si cette dernière se brise, la branche s'effondre. En effet, le bois de réaction qui se serait mis en place naturellement si la branche n'avait pas été soutenue dans le but de résister aux contraintes statiques et dynamiques ne se met plus en place. Il peut être reproché aux étais d'être peu esthétiques.

Conclusion

Haubaner permet de réduire les risques, mais parfois cela peut en induire d'autres, y compris un faux sentiment de sécurité.

Il ne faut pas croire qu'en haubanant, on va figer la situation. L'arbre est vivant et le haubanage doit s'adapter au cours du temps en fonction de l'évolution du sujet.

Les praticiens s'orientent généralement vers des systèmes dynamiques qui doivent être suivis dans le temps. Le matériel doit être remplacé en fonction de son vieillissement et de l'évolution de l'arbre.

Le haubanage est une intervention raisonnée qui doit être précédée d'un bon diagnostic. Il ne s'agit que d'un des outils utilisable pour conserver les arbres patrimoniaux.

Contraintes exercées sur l'arbre et résistance mécanique du bois

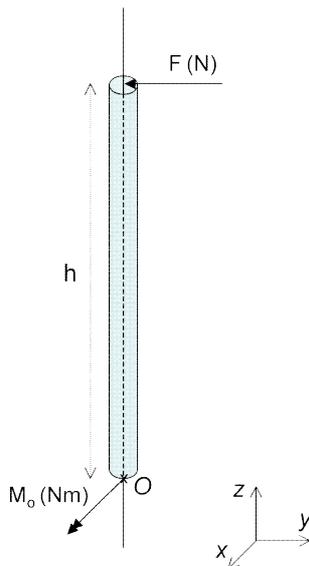
Thierry Fourcaud Chercheur ingénieur en biomécanique au Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) – UMR AMAP a construit son exposé en expliquant tout d'abord quelles sont les notions élémentaires de résistance des matériaux, il a ensuite abordé le sujet du bois dans l'arbre et a conclu en traitant le sujet de l'arbre face au vent.

I) Notions élémentaires de résistance des matériaux

Les **forces** se décomposent en 3 catégories :

- Les forces externes. Il s'agit de forces ponctuelles (point d'attache d'un hauban par exemple), de forces surfaciques, de forces linéiques et de forces volumiques (gravité par exemple).
- Les forces internes qui s'exercent entre les particules du matériau.
- Les forces de réaction. Lorsqu'une force est appliquée sur un solide, il se déplace s'il n'existe pas de force de réaction. S'il existe une force de réaction ces forces rentrent en équilibre et le solide reste statique. Par exemple force de réaction du système sol racine.

Le **moment** (M) d'une force est calculé en un point donné (O) (par exemple le point d'encastrement d'une branche). Il est défini par le bras de levier (h) multiplié par la force (F) elle-même. $M_o = h \times F$ (la distance h doit être perpendiculaire à la direction de la force).



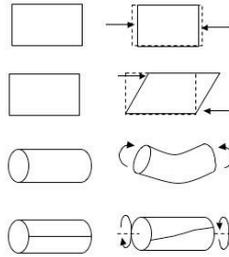
Les sollicitations

Elles sont souvent couplées dans la structure d'une branche car les mouvements d'un arbre sont complexes. Il peut s'agir de compression axiale ou d'étirement (traction), de cisaillement qui sont fréquents chez les arbres, de flexion, de torsion.

Forces et moments

• **Sollicitations élémentaires:**

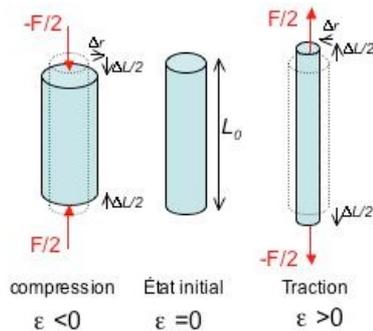
- Compression/traction
- Cisaillement
- Flexion
- Torsion



Les déformations

Lorsqu'une poutre est comprimée (forces axiales), elle se rétrécit. Plus elle est élastique, plus elle se rétrécit. De plus, elle gonfle dans la direction radiale. La définition de la déformation est la variation de longueur de la poutre divisée par la longueur initiale de celle-ci. Elle s'exprime en pourcentage.

Au contraire, une poutre étirée s'allonge.



Les contraintes

Il s'agit de force par unité de surface. La contrainte axiale dans une section droite d'un cylindre d'aire A est uniforme et égale à Force / Aire. La contrainte s'exprime en unité de pression, en Newton par mètre carré (N/m^2) ou en Pascal (Pa). La déformation et la contrainte sont liées par une relation appelée « **loi de comportement** ».

La loi de comportement la plus simple est l'élasticité linéaire (relation de proportionnalité entre la contrainte et la déformation) la contrainte est égale à un coefficient E (**module d'élasticité**) multiplié par la déformation.

La déformation est une mesure du déplacement relatif entre 2 points matériels d'un solide lorsque ce dernier est soumis à un apport d'énergie (par exemple en appliquant des forces extérieures).

Lorsque la déformation est réversible (c'est-à-dire que les points reviennent à leurs positions initiales lorsque l'on décharge), on parle de déformation élastique.

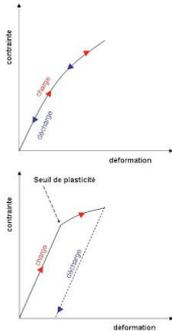
A titre de comparaison, le module d'élasticité E du diamant est de 1 000 000 Mpa, celui du cartilage est de 20 Mpa, le bois vert est de 5 000 Mpa (Souvent 100 Mpa) et le bois sec de 10 000Mpa. Le bois a des modules d'élasticité très variables y compris au sein d'un même arbre.

Rupture

La rupture est beaucoup plus compliquée à expliquer que la relation linéaire entre la contrainte et la déformation.

La contrainte maximale supportée par le matériau est appelée **contrainte ultime** ou **module de rupture**.

La **plasticité** correspond à une déformation irréversible. Suite à une contrainte, lorsque la structure est déchargée, les déformations sont conservées, elle est endommagée. Une déformation plastique est déjà un danger potentiel.

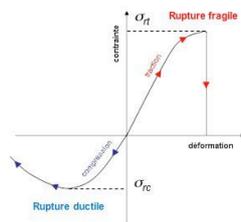


Il existe des **ruptures fragiles** (le verre par exemple), le matériau casse de façon abrupte et les **ruptures ductile** qui sont moins brutales.

Chez le bois, le niveau de contrainte ultime est beaucoup plus important en traction qu'en compression.

Contraintes et déformations

- La contrainte maximale σ_r supportée par le matériau est appelée **contrainte ultime** ou **module de rupture (MOR)**
- On distingue **rupture fragile** et **rupture ductile**
- Le bois est **ductile en compression** et **fragile en tension**, avec $\sigma_c < \sigma_t$

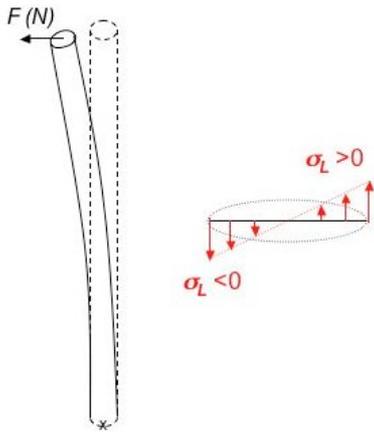


Exemple du bois

Structure

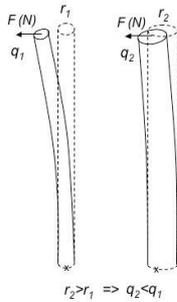
Il est possible d'apporter une contrainte à une poutre encastree à sa base en exerçant une traction ponctuelle dans sa partie haute. (Une poutre est une structure élancée dont une dimension est plus grande que les deux autres). La déformation de la poutre sera liée à la géométrie de la structure mais aussi à la déformabilité du matériau.

Les contraintes les plus importantes sont à la périphérie (compression d'un côté, tension de l'autre côté). La contrainte est nulle au centre de la poutre. Plus la poutre est épaisse, moins elle se déplace à force égale. Pour des poutres de même diamètre, si une d'elles est composée d'un matériau plus déformable que l'autre, elle aura un déplacement plus important à force égale.

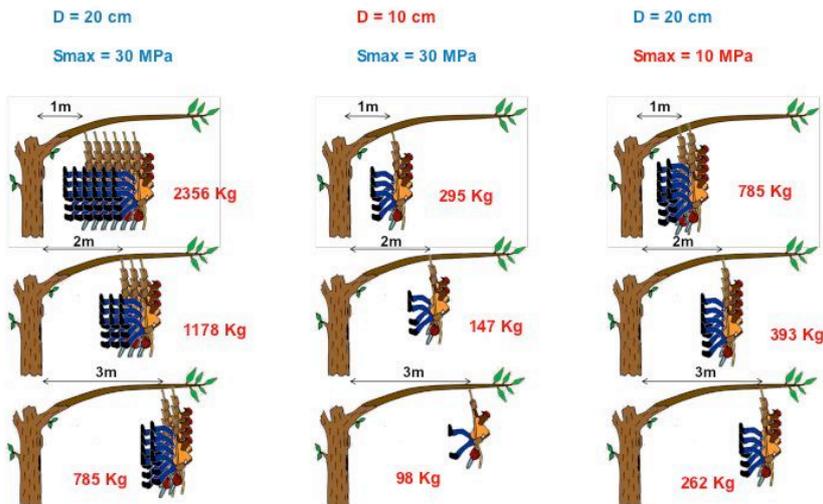


Flexion des poutres

- L'intensité de la flexion est appelée **courbure**
- Le déplacement transverse en un point donné de la poutre est appelé la **flèche**
- La **rigidité** en flexion d'une poutre est donnée par le produit EI où I est appelé le **moment d'inertie** de la section droite
- Pour une poutre à **section circulaire**, le moment d'inertie I est proportionnel au rayon à la puissance 4 ($I = \pi r^4/4$)
- A charge égale, la **courbure** (et donc la flèche) **augmente** lorsque la **rigidité diminue**, c'est-à-dire quand E ou I diminue



Flexion de poutres



Cas des arbres creux

Les contraintes les plus importantes sont à la périphérie de l'arbre. Si le tronc est creux, le niveau de contrainte augmente dans sa zone périphérique. Par contre le creux diminue la

masse totale. Il existe un compromis entre le poids propre de l'arbre et le niveau de contrainte qui s'exerce. Les arbres creux ont souvent un diamètre important, ceci est plutôt favorable.

II) Le bois matériau

Le bois est un matériau composé de fibres qui ne sont pas toujours orientées dans l'axe du tronc. Les fibres n'ont pas la même dimension à proximité de l'écorce et près de la moelle. Il existe aussi des rayons ligneux. Lors de l'étude de la résistance du matériau bois il faut prêter attention à la direction dans laquelle l'échantillon est orienté (radiale, tangentielle ou longitudinale RTL). Les ruptures sont plus fréquentes dans les directions radiales et tangentielles que dans la direction longitudinale.

Le bois est un matériau très complexe. Les propriétés du bois peuvent être influencées par le milieu (humidité, température). Si le taux d'humidité augmente, le bois devient plus déformable. La variabilité du bois peut être d'origine biologique (espèce et génotype, bois juvénile et bois adulte, bois de printemps et bois d'été, aubier et bois de cœur, bois normal et bois de réaction).

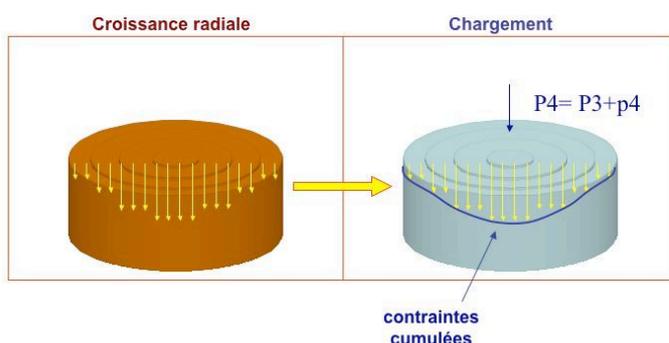
L'arbre usine à bois

Toutes les propriétés et leurs variabilités sont influencées par la croissance de l'arbre. Les processus de croissance (division cellulaire, différenciation, lignification) ont une incidence sur les propriétés du bois et sur son état mécanique.

Dans un tronc vertical, la compression n'est pas uniforme. Les contraintes sont beaucoup plus fortes à proximité de la moelle qu'à la périphérie (ceci lié au fait que les cernes de bois n'ont pas le même âge et n'ont pas la même histoire).

Les contraintes de support

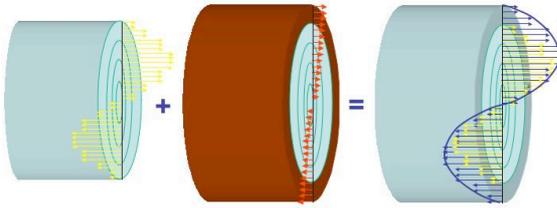
Exemple : la compression axiale



Dans une branche horizontale, les profils de contrainte sont sinusoïdaux avec des valeurs maximales qui ne sont pas à la périphérie.

Les contraintes de support

Exemple : la flexion



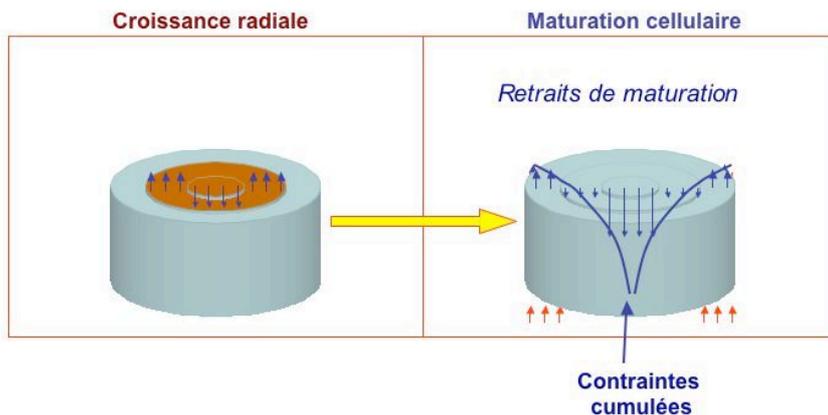
La maturation cellulaire

L'arbre est capable de développer ses propres contraintes pour se mouvoir dans l'espace. Si un arbre est incliné, il va essayer de se redresser. Pour cela il génère ses propres forces (ce sont les « muscles de l'arbre » qui ne servent qu'une fois). De nouvelles cellules fabriquées par le cambium servent à générer des forces pendant un certain temps. Dans une jeune fibre, pendant quelques semaines, des processus physico-chimiques induisent le retrait longitudinal de la fibre.

Les contraintes de maturation

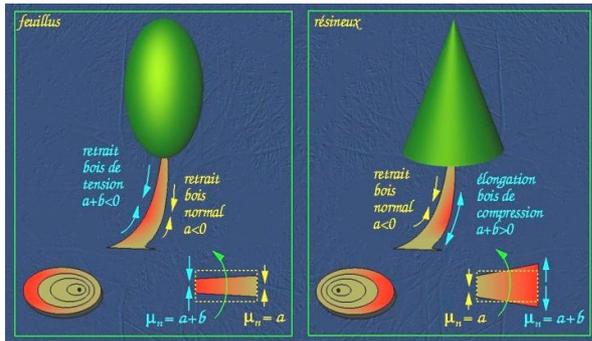
Les nouvelles fibres formées à la périphérie de l'arbre adhèrent aux fibres plus anciennes lignifiées et exercent une force de compression sur ces dernières. Les contraintes de croissance permettent d'augmenter le facteur de sécurité de l'arbre.

Les contraintes de maturation

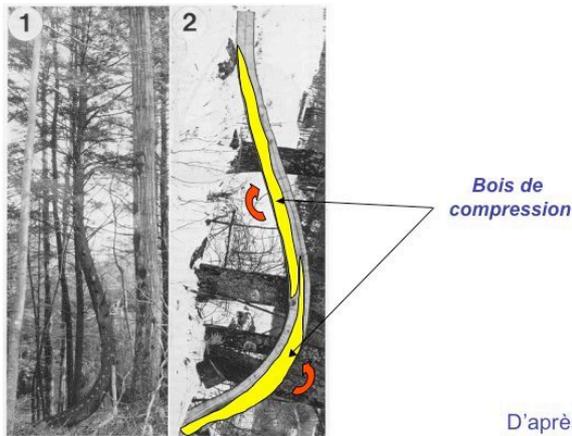


Le gravitropisme

Lorsqu'un jeune plant est incliné, celui-ci se redresse. Le mécanisme n'est pas le même chez les feuillus et les résineux, il est opposé. Chez les feuillus, il y a un retrait du bois de tension dans les fibres situées dans la partie concave du tronc. Chez les résineux, il y a une élévation du bois de compression dans la partie convexe du tronc.



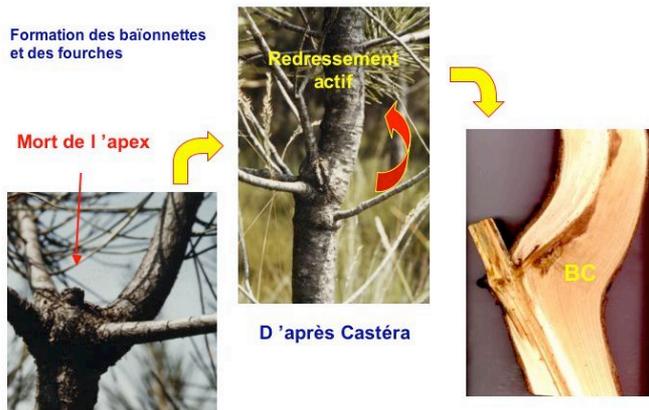
Le gravitropisme



D'après Timell

De la même façon, lorsque l'apex meurt, les branches apicales vont prendre le relais et se redresser pour prendre le relais du tronc.

Le gravitropisme



D'après Castéra

III - L'arbre face au vent

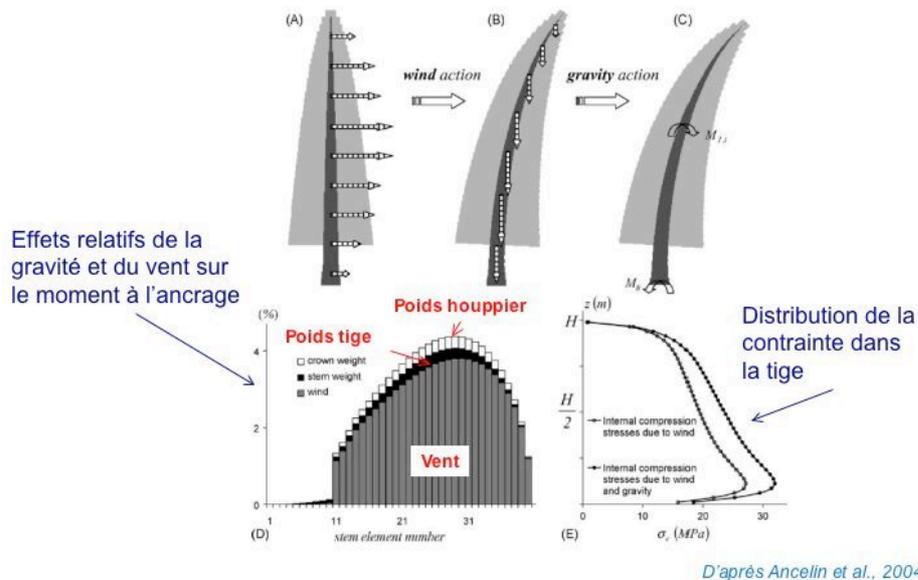
Le vent est une force qui exerce une pression plus ou moins importante sur le houppier en fonction de la densité du feuillage. Plus les branches se déforment moins le vent a d'impact sur la structure de l'arbre. Les forces se transmettent dans la structure jusqu'au système

racinaire. Moins un arbre est déformable, plus les forces sont transmises dans le système racinaire.

Lorsqu'un arbre au tronc vertical est incliné par le vent, le poids de l'arbre a un effet qui augmente avec l'inclinaison sur le moment de l'ancrage.

Lorsque l'arbre a un rapport hauteur / Diamètre important, le tronc risque de se casser. Dans le cas contraire, il y a risque de déracinement.

L'arbre soumis aux vent



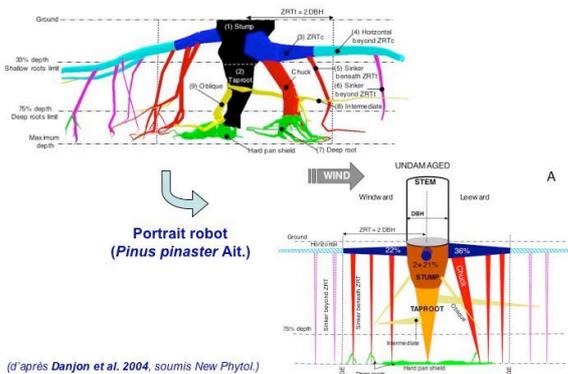
Les adaptations morphologiques

Toute intervention sur un arbre a des conséquences sur son développement, sur la façon dont il va allouer la matière et sur la manière dont il va se développer.

L'arbre peut développer des réitérations, suite à un traumatisme. Elles servent de balancier pour rééquilibrer le houppier et répartir les forces de gravité.

Les racines se développent davantage dans la direction des vents dominants. Avec des charpentières des béquilles, des racines spécialisées dans la résistance en traction et en flexion.

Acclimatation morphologique



Les branches servent à amortir les mouvements. Même les petites branches, à la périphérie ont un effet très important sur l'amortissement de la structure.

Conclusion

L'arbre est un système dynamique ; il doit ressentir la déformation pour s'adapter.

Les techniques de haubanage prescrites en Allemagne

Le Dr Georges LESNINO, Expert conseil en arboristique à Petershausen en Allemagne a introduit son exposé en présentant les directives « ZTV Baumflege » de 2006. Il s'agit des conditions contractuelles techniques complémentaires et directives pour les soins aux arbres.

Ces directives ont été rédigées sous la direction de la Société de recherche pour le développement et les travaux de paysage (FLL).

Ces directives sont applicables pour l'exécution de mesures de prévention, de sauvegarde, de protection et de soin aux arbres qui n'ont pas d'intérêt économique.

Un gestionnaire est responsable des arbres dont il a la charge, donc il est tenu de les sécuriser. Son but est souvent aussi de conserver les vieux sujets.

Il existe de nombreuses façons de protéger les cibles. Il peut s'agir de clore le périmètre dangereux. Il est possible de réduire la prise au vent de l'arbre en rabattant les branches ou en étêtant la couronne mais ces techniques génèrent des rejets importants qui sont ancrés sur du bois en cours de dégradation, il ne s'agit donc pas d'une solution d'avenir. Les techniques consistant à entourer les branches avec des liens métalliques étranglent ces dernières ce qui pose un problème d'alimentation en sève de la couronne. Il est possible d'éliminer les branches dangereuses, mais ceci induit des plaies de diamètre important ne pouvant pas se recouvrir. L'abattage peut être une solution ultime.

Les sécurisations statiques avec câble en acier et perçage des branches charpentières occasionnent des blessures et souvent des pourritures.

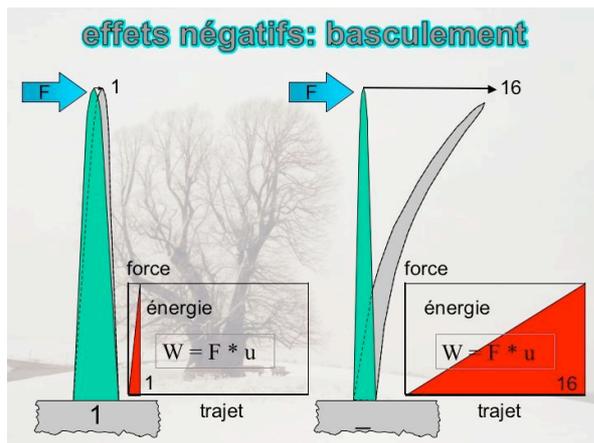
La taille n'entrave pas les oscillations naturelles des branches mais elle a l'inconvénient d'occasionner des blessures et de modifier le port de l'arbre. Le haubanage a l'avantage de limiter le risque de rupture tout en maintenant le port de l'arbre sans le blesser. Par contre le haubanage entrave les oscillations naturelles, il doit être contrôlé et entretenu régulièrement

Le travail de recensement de l'étudiant M. Wilde a permis de montrer que plus de la moitié des défaillances observées sur les arbres urbains correspondaient à des ruptures de fourches à écorce incluse et à des ruptures de charpente. Les cas de basculement, de rupture de collets et de troncs sont moins fréquents.

Le principe du haubanage consiste à limiter l'ampleur des oscillations sous l'action du vent.

Les mouvements s'additionnent par résonance, l'énergie est transmise vers le bas et la branche peut se briser ou l'arbre peut basculer.

L'énergie est égale à la force multipliée par le déplacement.

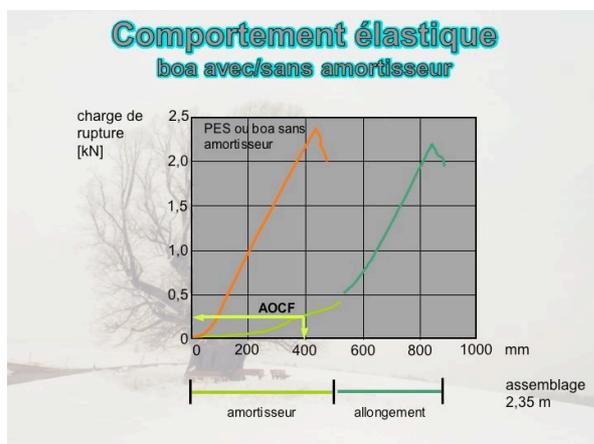


L'arbre a la possibilité de repérer ses zones de faiblesse et de les renforcer. Si l'arbre ne peut pas bouger, il ne pourra pas se renforcer.

Amplitude d'oscillation sous charge faible

L'arbre a besoin de mouvement pour créer du bois de réaction ou du bois de compensation. Les haubans souples avec amortisseur (système dynamique) sont adaptés dans ce cas. Les branches ne peuvent ainsi bouger qu'avec une amplitude limitée.

En fin de course, l'allongement du câble et la présence d'un amortisseur freine progressivement le mouvement en absorbant une partie de l'énergie.



Il existe 3 types de sécurisation :

1) La sécurisation dynamique de rupture

Il s'agit d'un système de haubanage souple laissant une certaine amplitude de mouvement aux branches. L'arbre peut ainsi se consolider lui-même.

Ce haubanage dynamique réduit l'absorption d'énergie, les sollicitations extrêmes et l'effet de parodontose (la corde assez souple et l'amortisseur atténuent l'arrêt brutal de la branche lorsque le câble est mis en tension).

2) La sécurisation statique de rupture

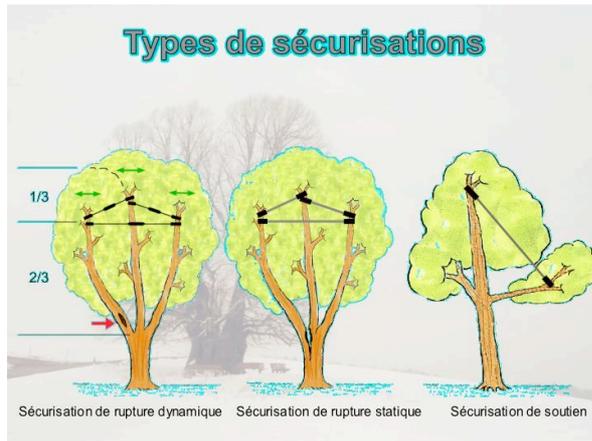
Ce type de haubanage permet l'immobilisation. Cette technique est utilisée en présence de défauts très avancés (fourche à écorce incluse déchirée par exemple), de façon à ce que la déchirure ne s'amplifie pas.

Il est réalisé avec une fixation rigide telle que la corde dyneema qui a une très petite élasticité (de l'ordre de 2 à 3 %) ou par un câble en acier.

La charpente qui tient cet ancrage doit pouvoir le soutenir et il faut aussi qu'en cas de chute la branche n'atteigne pas le sol.

3) La sécurisation verticale de soutien

Dans ce cas, les haubans sont installés plus ou moins verticalement pour soutenir une branche. Ce système de haubanage est utilisé pour des branches horizontales très longues. Il permet d'éviter les arrachages dus à un vent latéral ou les ruptures estivales.



A quelle hauteur placer des haubans ?

Les haubans sont généralement installés au 2/3 de la longueur de la branche. Une autre formule consiste à disposer ces derniers à une distance correspondant à 20 fois le diamètre mesurée à la base de la charpente à sécuriser.

Quel doit être le dimensionnement des haubans ?

Le dimensionnement des câbles est basé sur les observations de terrain et sur des calculs physiques.

Il faut bien noter que chaque arbre est différent et à des défauts propres. Les indications données n'ont par conséquent qu'une valeur indicative.

Pour la sécurisation dynamique de rupture, le dimensionnement de haubans prescrit par ZTV Baumflege 2006 sont de :

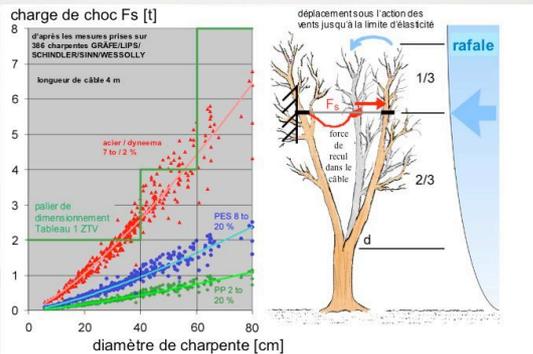
| Diamètre à la base de la charpente | Charge de rupture du système requise pendant la durée d'utilisation |
|---|---|
| Jusqu'à 40 cm | 2 tonnes |
| 40 – 60 cm | 4 tonnes |
| 60 – 80 cm | 8 tonnes |
| Sécurisation statique : charges doubles | |

Ces valeurs ont été définies à partir de différentes approches :

- 1) Calcul de la force de choc
- 2) Calcul de la charge des vents
- 3) Charge calculée à la limite d'élasticité

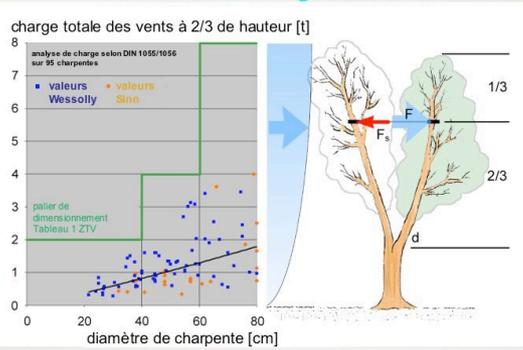
Dimensionnement - approches

1. force de choc



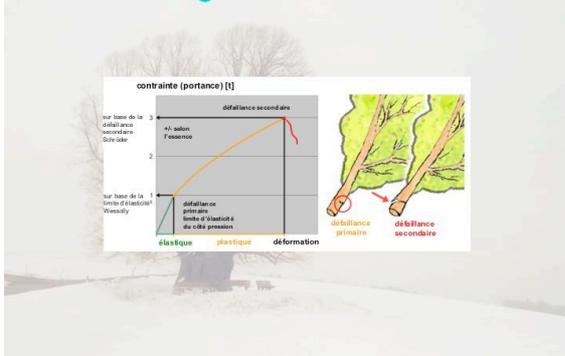
Dimensionnement - approches

2. calcul de la charge des vents



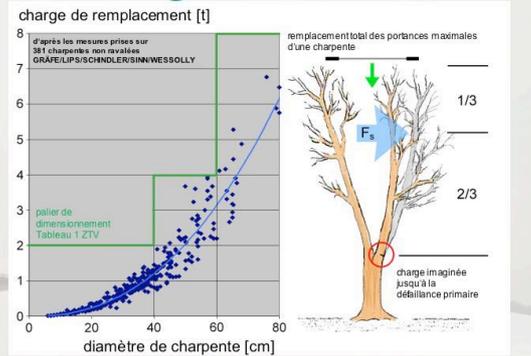
Dimensionnement - approches

3. charge à la limite d'élasticité



Dimensionnement - approches

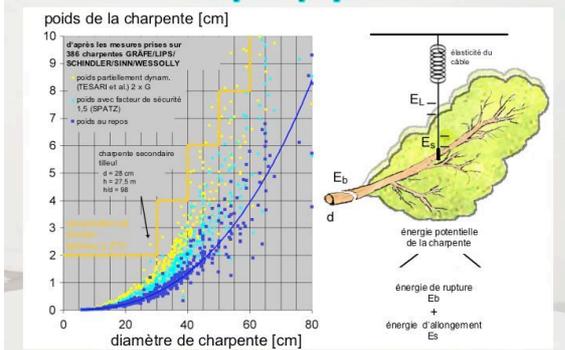
3. charge à la limite d'élasticité



4) Pour la sécurisation statique, en soutien de branches à l'horizontale ou déchirées le poids propre de la branche est calculé
Le poids est calculé en multipliant la surface de section à la base par la hauteur multiplié par un facteur de 0,8

Dimensionnement - approches

4. poids propre



Pour la sécurisation de soutien, le dimensionnement de haubans prescrit par ZTV Baumflege 2006 sont de :

| Diamètre à la base de la charpente | Charge de rupture du système requise pendant la durée d'utilisation |
|------------------------------------|---|
| Jusqu'à 30 cm | 2 tonnes |
| 30 – 40 cm | 4 tonnes |
| 40 – 50 cm | 6 tonnes |
| 50 – 60 cm | 8 tonnes |

Les matériaux des câbles **vieillissent** plus ou moins rapidement

Des analyses de haubans placés pendant 5 ans dans un arbre ont permis de mesurer une perte en charge de rupture de 2 % par an pour le polypropylène et de 10 % pour polyester.

A force d'être sollicités les câbles finissent par perdre leur élasticité (les cordes tordues sont plus sensibles à ce phénomène). Il s'agit de l'**allongement persistant**. La courbure des haubans permet de repérer cet allongement persistant. (Les haubans sont initialement tendus à la main sans grande traction).

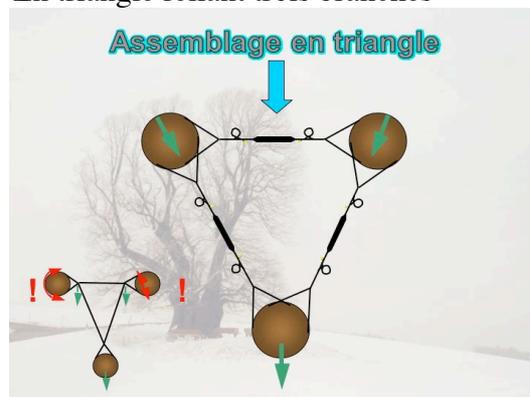
Ces coefficients de perte sont à prendre en compte lors du dimensionnement initial des haubans.

Pour éviter qu'une branche brisée tombe au sol, il est possible de seconder le haubanage situé au 2/3 de la branche par un hauban installé plus bas qui retiendra la branche.



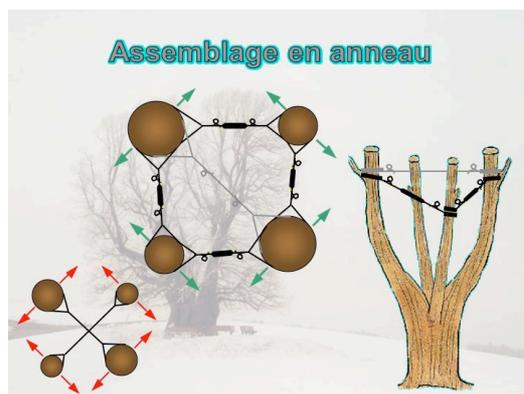
Il existe plusieurs types d'assemblages

- En triangle reliant trois branches



- Quatre branches peuvent être reliées en étoile mais elle pourront encore se déplacer latéralement.

Un assemblage en anneau avec un hauban central reliant deux branches opposées sera préférable.



Le contrôle des haubans

Il est important de prêter attention aux points suivants :

- L'état des matériaux. La durée de garantie est généralement de 8 ans maximum. Des plaquettes de couleur installées sur les haubans permettent d'identifier les années de pose (Une couleur par année)
- La tension (à l'exception des sécurisations de rupture sous charge permanente) ou la flexion démesurée de l'assemblage. La croissance radiale tend les haubans. Certaines essences à croissance rapide sont à surveiller fréquemment.
- La hauteur des 2/3 est elle toujours respectée pour les arbres en croissance ?
- L'étranglement des branches suite à l'accroissement radial, l'enfoncement et (ou) le frottement des boucles de fixation et des assemblages. Les frictions hauban branche peuvent détériorer le câble. (Bris de fibres).
- Les surfaces en contact entre les branches et les sangles.

Les fabricants doivent fournir des documents certifiant la charge de rupture, l'allongement, la perte de résistance avec le temps, l'absorption de charges permanentes.

Les charges de rupture doivent s'appliquer au système complet.

La meilleure période pour poser un hauban est l'époque où l'architecture du houppier est visible. En feuillu, la structure de l'arbre est plus difficile à identifier.

Lorsque l'arbre est en feuillu, le système est tendu à la main alors que quand il n'a pas de feuillu le hauban doit être moins tendu.

Le haubanage et l'étayage dans la pratique (transferts des informations expert grimpeur, matériels, mise en place, suivi, coût)

Cet exposé a été confié à un binôme composé d'un expert en arboriculture ornementale et à un grimpeur élagueur.

Christian Riboulet, expert et président honoraire du Groupement des Experts Conseils en Arboriculture Ornementale (GECAO) a introduit l'allocation.

Haubaner ou étayer est une décision qui engage.

Pour l'arbre, haubaner est un acte de conservation, de sauvetage aux conséquences patrimoniales. Pour l'homme, il s'agit d'un acte sécuritaire aux conséquences parfois pénales. Il faut évaluer la situation avant de poser la problématique et d'essayer de la résoudre.

La chronologie de l'expertise :

- 1) Connaître et comprendre le fonctionnement de l'arbre, son contexte, son état.
- 2) Prévoir son avenir. Le diagnostic aboutit au pronostic.
- 3) Définir les accompagnements possibles (la gestion), en établir un programme et une évaluation.
- 4) Décider d'actions immédiates, en décrire les modalités techniques et les évaluer.
- 5) Les réaliser et permettre de les réaliser. Il est nécessaire d'avoir un langage commun entre celui qui prescrit et celui qui réalise.
- 6) Les contrôler et permettre de les contrôler

Avant tout diagnostic physiologique et sécuritaire, avant toute intervention de sécurisation, il est nécessaire que l'expertise apporte des réponses à plusieurs questions :

- Quel est l'intérêt paysager et patrimonial de l'arbre ? (utilité de l'arbre dans le site, fonctionnalités et réponses aux attentes privées ou publiques, atouts par rapport aux contraintes qu'il génère, intégration dans un projet futur).
- Quel est l'intérêt de l'arbre en lui-même ? (architecture de l'arbre, harmonie, équilibre, exclusivité, rareté, place de l'arbre dans le groupement ou la structure, rôle biologique et écologique dans l'environnement).
- Quelle est sa valeur monétaire d'agrément ? (plusieurs méthodes existent)

Les critères sont fournis par l'analyse paysagère, environnementale et patrimoniale précédente. Il faut y ajouter les résultats du diagnostic physiologique et sécuritaire et prendre en compte les contraintes et coûts de gestion.

- Quel est le risque ? La méthode QTRA adaptée à l'arbre par Michael Ellison en 2005 permet d'estimer la probabilité du risque à partir de l'estimation de la cible (fréquentation, valeur), et de la probabilité de rupture de l'arbre.

Les résultats du diagnostic peuvent être :

- La qualification complète de l'arbre (dendrologie, dendrométrie, architecture, stade de développement, antécédents, contraintes subies ou engendrées).
- Une analyse visuelle aboutissant à détermination de l'état physiologique et sécuritaire.
- Une identification des singularités, des défauts et des faiblesses.
- Un avis sur la réversibilité ou l'irréversibilité des singularités.

L'expertise permet d'aboutir à l'estimation de l'espérance de maintien (sans et avec travaux). Elle permet aussi de proposer un programme de gestion et de définir les techniques adaptées tout en signalant leurs limites.

L'expertise doit être un outil d'aide à la décision pour le propriétaire et le gestionnaire. Elle doit permettre aux entreprises d'établir des devis sur la base de données fiables. Elle permet aussi de réaliser les travaux à partir des modalités techniques contenues dans le document. L'expertise contient des notions de prévention pour éviter les actions néfastes dans l'environnement de l'arbre. L'expertise doit permettre un suivi précis de l'arbre.

Les conditions d'une bonne exécution sont la communication à l'entreprise de l'expertise complète. Si l'expertise n'est pas suffisante, il faudra établir un cahier des charges techniques. Il est aussi nécessaire d'avoir un langage technique commun partagé par l'expert et l'entreprise.

Les données utiles et précises qui doivent être communiquées par l'étude sont dans un premier temps l'identification des arbres à traiter (numérotation, cartographie), puis l'identification des branches support et de celles à sécuriser (croquis, orientation,

numérotation, marquage à la peinture si cela est possible). L'étude doit aussi préciser les données dendrométriques des branches à haubaner ou à étayer (longueur totale, volume et poids estimé, diamètre à la base et au point d'ancrage).

Le positionnement des haubans doit être décrit, la localisation des points d'ancrage sera précisée (distance par rapport au sol, distance à partir de la base de la branche, distance entre les points d'ancrage ou des repères notables). Le type de haubanage choisi sera, bien sûr précisé (haubanage statique, dynamique ou de soutien).

Dans le cas d'un étayage, un croquis est nécessaire, le point d'appui sera localisé ainsi que le diamètre de la branche et sa hauteur précise à partir du sol. Le nombre d'étais et leur disposition, la nature du matériau, la longueur des éléments, leur diamètre, la modalité d'ancrage au sol seront précisés.

Les interventions complémentaires doivent être notifiées. Des tailles sont souvent réalisées avant l'intervention de haubanage ou d'étayage. Il peut s'agir de taille d'entretien (éclaircie, de retrait de bois mort ou de chicot), ou de taille d'adaptation (réduction sélective).

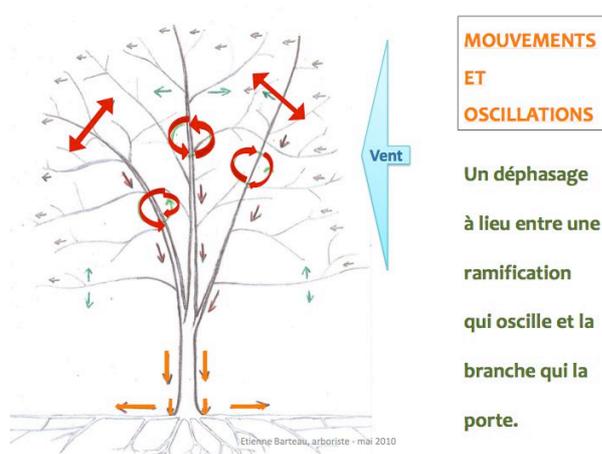
Etienne Barteau, Grimpeur-élagueur Directeur de la Société Canopée et Président honoraire du cercle de qualité Séquoia a conclu les exposés sur le haubanage par une allocution relatant son expérience de praticien.

Il a constaté que beaucoup de grimpeur élagueur ne pratiquent pas de haubanage. La cause venant peut-être du fait que ce type d'activité nécessite d'avoir un stock de matériel assez important.

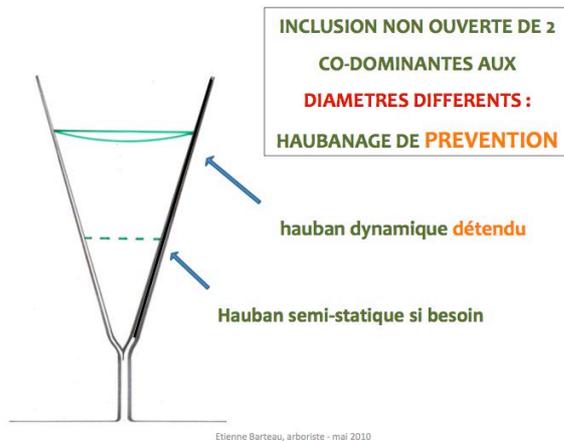
Les principales sources des ruptures sont les fourches à écorce incluse, les fissures, les cavités et les branches nécrosées à la base.

Le rapport Longueur sur diamètre est important à prendre en compte particulièrement pour le cèdre et le chêne. Les axes peuvent subir des déformations par flexion et par torsion.

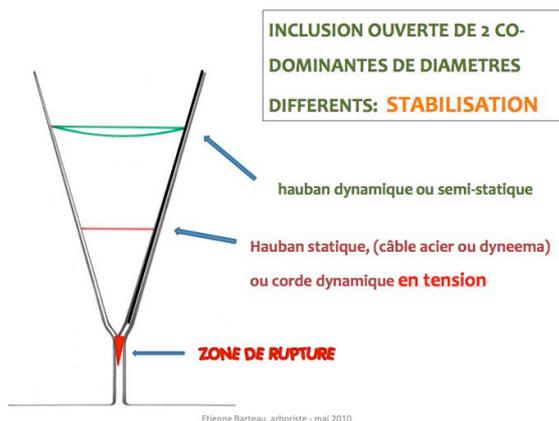
Les mouvements et les oscillations des branches sont très délicats à analyser. Lors de l'observation des arbres fins et hauts avec des branches codominantes soumises à un vent important on constate que les branches peuvent tourner ou se balancer. Il existe aussi un déphasage entre une ramification qui oscille et la branche qui la porte. A partir de ces observations il est très difficile de savoir comment l'arbre va réagir suite à la pause des haubans.



Lorsque deux branches charpentières codominantes à inclusion non ouverte ont des diamètres différents, le cas est assez simple. Une branche est le support rigide et l'autre est plus souple. Le haubanage de prévention consiste à mettre un hauban dynamique détendu dans la partie haute et un hauban semi statique, si nécessaire, dans la partie basse.

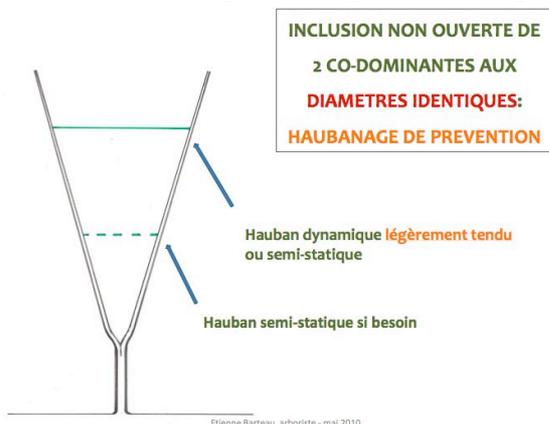


Sur le même type d'arbre, avec inclusion ouverte, s'il s'agit d'un haubanage de stabilisation un hauban dynamique ou semi-rigide est placé dans la partie haute (parfois détendu) et dans la partie basse est installé un hauban statique (câble acier ou dyneema) ou une corde dynamique en tension.

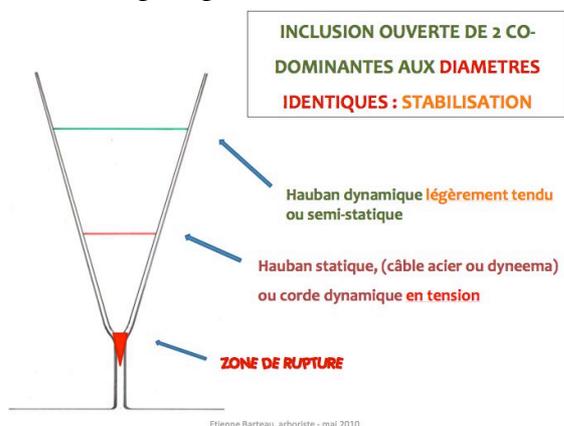


Le cas est plus complexe lorsque ce type d'arbre, à inclusion, a deux codominantes longues et fines de même diamètre. Dans ce cas, sous la pression du vent, une branche tire l'autre et on ne connaît pas la limite de flexion de la branche qui peut se briser.

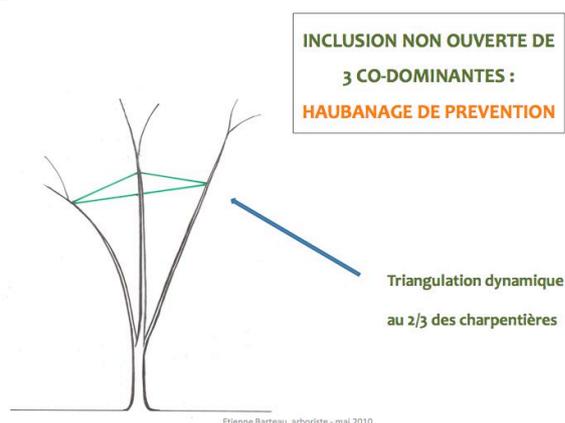
Un hauban dynamique légèrement tendu ou semi statique est placé dans la partie haute et un hauban semi-statique est disposé dans la partie basse, si nécessaire.



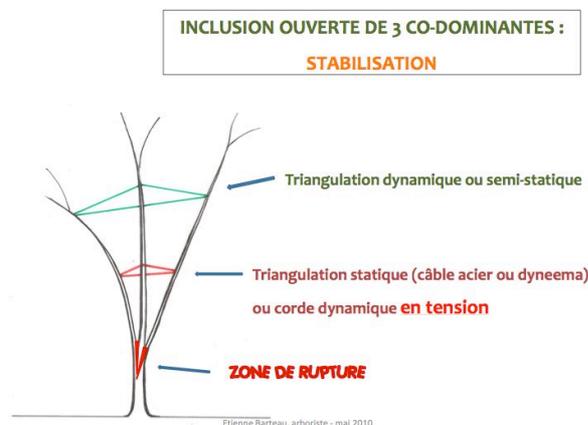
Sur le même type d'arbre, avec une zone de rupture telle qu'une fissure, il est possible de placer un hauban dynamique légèrement tendu ou semi-statique dans la partie haute et un hauban statique (câble acier ou dyneema) ou corde dynamique en tension dans la partie basse. Mais on ne peut pas être sûr de l'efficacité de ce haubanage.



Un haubanage de prévention triangulaire dynamique posé au 2/3 de la hauteur sera réalisé pour les arbres à 3 branches codominantes ayant une inclusion non ouverte.

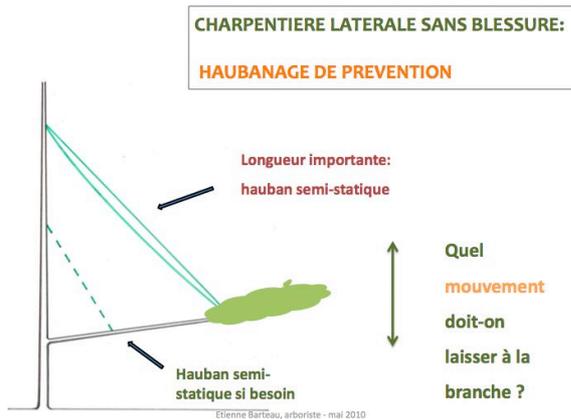


Pour le même type d'arbre ayant une inclusion ouverte un haubanage de stabilisation pourra être réalisé en plaçant une triangulation dynamique ou semi statique dans la partie haute, plus une triangulation statique (câble acier ou dyneema) ou des cordes dynamiques en tension

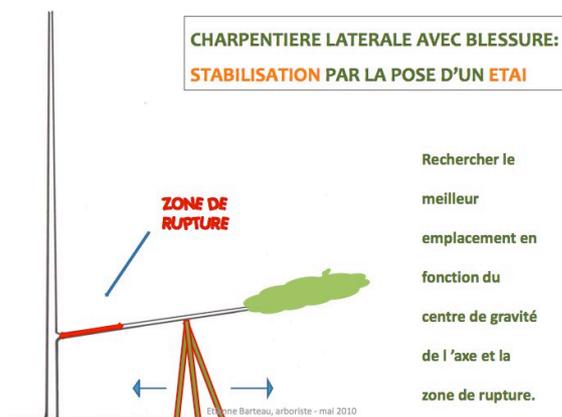


Deux étage de haubannage permettent, s'il y a rupture, de maintenir la branche dans l'arbre et par conséquent ne pas atteindre la cible.

Un haubannage de prévention peut être mis en place pour retenir une longue branche charpentière latérale (horizontale) sans blessure. Un hauban semi statique sera installé au 2/3 de la branche (Dans ce cas, les haubans sont longs, parfois plus de 15 m). La question est de savoir quel mouvement laisser à la branche et quel type de corde utiliser. Compte tenu de la longueur du câble, le coefficient d'élasticité doit être pris en compte car il a une réelle influence sur l'allongement de la corde (par exemple, 10 % d'élasticité sur une longueur de câble de 15 m représente un étirement de 1,5 m). Un hauban semi statique peut être installé dans la partie basse si nécessaire.



La stabilisation d'une branche charpentière latérale (horizontale) avec une blessure à la base peut être réalisée par la pose d'un étau. Dans ce cas, il sera nécessaire de rechercher le meilleur emplacement de l'étau en fonction du centre de gravité de l'axe et de la zone de rupture. La zone de rupture est très souvent située dans le premier tiers de la branche.



Les **périodes de poses** sont comprises entre fin mai et septembre, lorsque les branches et les rameaux feuillés sont en tension, juin et juillet sont les mois les plus favorables.

Les arbres sont visités en automne ou en hiver pour bien analyser leur architecture qui n'est pas masquée par le feuillage à cette époque.

Les matières composant les cordes creuses :

Le polyester

- Semi-statique avec un faible allongement (5 %)
- Bonne résistance aux U V
- Perdrat 10 % de résistance par an (Brudi 2000)

Le polypropylène (cobra, boa)

- Dynamique avec un fort allongement (15 %)
- Résistant aux U V s'il est noirci
- Sensible au frottement

Le polyamide

- Dynamique avec un fort allongement (plus de 20 %)
- Bonne résistance aux U V
- Retrait important dans le temps (diminution de la longueur de 3 %)

Le dyneema

- Statique équivalant au câble acier
- Sensible au frottement
- Résiste aux U V
- N'absorbe pas les chocs

Test de retrait

Test de retrait au temps sur des échantillons de 5 m pendant 6 mois.

| Type de produit | Allongement à la rupture * | Retrait au temps | % de retrait | Pour un hauban de 10 m |
|-----------------|----------------------------|------------------|--------------|------------------------|
| Cobra 2 t | 20 %* polypropylène | 4,5 cm | 1 % | 9 cm |
| Cobra 4 t | 15 %* polypropylène | 4 cm | 1% | 8 cm |
| Moorex 3.2 t | plus de 20 % polyamide | 7 cm | 1,5% | 14 cm |
| Moorex 5.5 t | Plus de 20 % polyamide | 9,5 cm | 2% | 19 cm |
| Liros 2 t vert | 20% polyamide | 16,5 cm | 3% | 33 cm |
| Liros 4 t vert | 20% polyamide | 15, 5 cm | 3% | 31 cm |
| Liros 2 t bleu | 5% polyester | 3 cm | 1% | 6 cm |
| Liros 4 t bleu | 5% polyester | 3,5 cm | 1% | 7 cm |

* Selon test de la convention de recherche Wallonne FUSAGx 2007 pour Cobra et Moorex et selon le catalogue Drayer pour Liros

*Testé durant 6 mois à l'extérieur du 10 Novembre 2009 au 14 Mai 2010.

* Cobra sans amortisseur

Comparatif des coûts HT d'un hauban posé

| COMPARATIF DU COÛT DES FOURNITURES et MO HT EN EUROS | 4 m entre les axes | Coût MO | 8 m entre les axes | Coût MO | 12 m entre les axes | Coût MO |
|--|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| Cobra 1.8 t avec amortisseur | 48 | 40/50 | 57 | 60/70 | 66 | 80/90 |
| Cobra 2 t sans amortisseur | 35 | 35 /45 | 44 | 55/65 | 53 | 75/85 |
| Tree save 2 t , sangles de 125 cm | 31 | 30 /40 | 39 | 45/55 | 44 | 60/70 |
| Boa 2 t avec amortisseur | 41 | 40/50 | 47 | 60/70 | 53 | 80/90 |
| Boa 2 t sans amortisseur | 28 | 35/45 | 34 | 55/65 | 40 | 75 /80 |
| Moorex 3.1 t | 21 | 35/45 | 30 | 55 /65 | 39 | 75/85 |
| Cobra 3 t avec amortisseur | 61 | 40/50 | 71 | 60/70 | 81 | 80/90 |
| Cobra 3.5t sans amortisseur | 41 | 35/45 | 51 | 55/65 | 61 | 75/85 |
| Sangles 4 t plus dyneema 3.75 t | 41 | 35/45 | 50 | 55/65 | 60 | 70 /80 |
| Tree save 4 t, sangles de 200 cm | 51 | 35/40 | 57 | 55 /65 | 64 | 70/80 |
| Boa 4 t avec amortisseur | 62 | 50/60 | 74 | 65/75 | 86 | 85/95 |
| Boa 4 t sans amortisseur | 49 | 45/55 | 61 | 60 /70 | 73 | 80/90 |
| Moorex 5.5 t | 52 | 45 /55 | 71 | 60/70 | 89 | 80/90 |
| Cobra 5.4 t avec amortisseur | 99 | 50/60 | 120 | 70/80 | 142 | 90/99 |
| Cobra 6.15 t sans amortisseur | 79 | 45/55 | 100 | 65/70 | 122 | 85/95 |
| Sangles 8 t plus dyneema 9 t | 92 | 45/55 | 118 | 65/70 | 144 | 85/95 |

* FOURNITURE PRIX CATALOGUES FRANCAIS SANS MARGES DE L'INSTALLATEUR

Etienne Barteau, arboriste - mai 2010

Avantages et inconvénients des produits utilisés

| PRODUITS Composition | AVANTAGES | INCONVENIENTS |
|-------------------------------------|--|---|
| COBRA , polypropylène | Corde légère. Séchage rapide. Pas d'aiguille à épissurer Bonne durabilité Réglage facile lors des contrôles | Beaucoup de matériaux Prix élevé Sensible au frottement |
| MOOREX polyamide | Simplicité, peu de matériaux Coût plutôt faible Possibilité de tension forte | Poids de la corde en 5.5 t Gaine non aisée à installer et de qualité moyenne |
| TREE SAVE polyester polyamide | Rapidité d'installation Existe en semi-statique et dynamique Coût modéré Possibilité de tension forte | Poids de la corde 8 t Retrait important au temps de la corde dynamique. Réglage difficile lors des contrôles |
| BOA polypropylène | Corde légère. Séchage rapide. Pas d'aiguille à épissurer. | Beaucoup de matériaux Sensible au frottement |
| DYNEEMA | Légèreté de la corde Très facile à épissurer Hyper statique | Durabilité à prouver Demande des épissures longues (100 fois le diamètre) |

Etienne Barteau, arboriste - mai 2010



Eléments de bibliographie

- James, K., Haritos, N., and Ades, P., 2006. Mechanical stability of trees under dynamic loads. *Am. J. Bot.* 93, 1522-1530.
- Shigo, A., and Felix, R., 1980. Cabling and bracing. *J. Arboriculture* 6, 5-9.
- Smiley, E. (2006). "Cabling, bracing and guying.." Massachusetts Arborists Association, Charlotte.
- Stobbe, H., Dujesiefken, D., and Schröder, K., 2000. Tree crown stabilization with the doublebelt system Osnabrück. *Journal of Arboriculture* 26, 270-274.

Glossaire

Apex :

Partie sommitale du végétal

Cambium :

Couche de cellules engendrant les tissus secondaires (bois à l'intérieur et liber à l'extérieur)

Codominantes :

Chez les arbres non fléchés, plusieurs branches à développement plus ou moins verticales, de même forces, cherchant à former la partie apicale de l'arbre.

CAUE :

Conseil d'architecture, d'urbanisme et de l'environnement

Charpentière :

Branches de plus gros diamètres ancrées sur le tronc et soutenant des branches de plus petites sections.

Couronne :

Ensembles des branches portant le feuillage.

Fourche à écorce incluse :

Deux branches forment une fourche à angle très fermé. Les branches sont jointes sans être soudées sur toute la longueur de la jointure car les écorces les séparent.

Rupture estivale :

Bris brutal d'une branche en période chaude l'été sans présence de vent notable. Phénomène encore inexpliqué.

Organisation des ArboRencontres de Seine-et-Marne

Augustin Bonnardot, forestier arboriste conseil au CAUE 77

Partenaires

- Mairie de Melun
- Mairie du Mée-sur-Seine
- Plante & Cité
- Société Française d'Arboriculture

Conférenciers et démonstrateurs :



- Etienne BARTEAU - CANOPEE ELAGAGE Les Chadauts 24300 AUGIGNAC Tel. 05 53 56 23 46 etienne.barteau@wanadoo.fr



- Bruno CAMPANELLA AGRO BIO TECH GEMBLOUX 2, passage des Déportés B – 5030 GEMBLOUX – Belgique Tel. 32 (0)81622454 bruno.campanella@ulg.ac.be
www.fasagx.ac.be



- Thierry FOURCAUD – CIRAD Bd de la Lironde TA A-51 / PS2 34398 MONTPELLIER Cedex 5 Tel.04 67 61 58 35 thierry.fourcaud@cirad.fr www.cirad.fr



- Georges LESNINO Sachverständigenbüro Moosfeldstr. 4 D D-85238
- PETERSHAUSEN – Allemagne Tel.49 (0)8137-996526 lesnino@baum-expert.de
www.baum-expert.de



- Christian RIBOULET Leygat 87110 SOLIGNAC Tel. 05 55 32 04 19
cabinet.riboulet@wanadoo.fr www.cabinetforestier-riboulet.com



- DRAYER 9, place Kléber 67000 STRASBOURG Tel.03 88 14 38 91
france@drayer.de www.drayer.de
- HÉVÉA ZI des Gresses 26290 DONZÈRE Tel. 04 75 51 69 72 s.beni@elagage-
hevea.com www.elagage-hevea.com
- SDA 17, rue Roger Salengro BP 107 69745 GENAS Cedex Tel.04 72 47 09 03
info@arbres-online.com www.arbres-online.com

Rédacteur

Augustin Bonnardot

Date de rédaction

Juillet 2010